

X-Band UAV-SAR Optimization and Validation

**A Degree Thesis
Submitted to the Faculty of the
Escola Tècnica d'Enginyeria de Telecomunicació de
Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya
by
Miquel Royo**

**In partial fulfilment
of the requirements for the degree in
Telecommunications ENGINEERING**

Advisor: Albert Aguasca Solé

Barcelona, July 2018

Abstract

This project consists on the improvement of an already validated System, as it is the work of a finished PhD Thesis. Due to the wide range of that thesis, many sub blocs need to be reevaluated and optimized. That is the main motivation of this project as the original prototype admitted improvements in many ways; such as in weight reduction or the use of other electronic components and new materials that, when finished, have led to a outperform of the System.

The Base Band circuitry Works wrongly and the High Frequency generates oscillations that caused several problems that led to a not working System. Furthermore, the design of new prototypes is greatly limited by the high consumption of power of the amplifiers, over 10 Watts.

Throughout this project, a profound analysis is carried out for each bloc and improved as much as possible until a robust, well-performing system is reached, fulfilling many of the initial goals.

Resum

Aquest projecte consisteix en la millora d'un sistema que ja ha estat validat, ja que és el propòsit d'una tesi doctoral ja acabada. Degut a la gran extensió de la tesi, molts dels blocs han quedat pendents d'una revisió i optimització. És aquesta la motivació d'aquest projecte ja que el prototip original permetia millores en molts sentits; tan en la reducció de pes com en la utilització d'altres components alternatius i nous materials que, un cop acabat aquest projecte, han permès un millor comportament del sistema.

Ens trobem amb que la banda base té problemes en quant a comportament i la part d'alta freqüència genera molts harmònics que impeden el funcionament del sistema. A més, el disseny dels prototips està molt limitat per l'alt consum de les etapes amplificadores, de més de 10 Watts.

Al llarg d'aquest projecte, analitzo un a un els blocs del sistema i els milloro en la mesura del possible, fins a aconseguir un sistema robust que funciona correctament complint molts dels requisits inicials.

Resumen

Este proyecto consiste en la mejora de un sistema que ya ha estado validado, puesto que es el propósito de una tesis doctoral terminada. Debido a la gran extensión de la tesis, muchos de los subsistemas han quedado pendientes de una revisión i optimización. La motivación de este se resume en: la reducción de peso, la utilización de otros componentes alternativos i nuevos materiales que, una vez terminado, han permitido un mejor comportamiento del sistema.

Nos encontramos con que la banda base tiene problemas en cuanto a comportamiento y la parte de alta frecuencia genera armónicos que impiden el funcionamiento correcto del sistema. Hay que añadir que el diseño de los prototipos está muy limitado por el alto consumo de las etapas amplificadoras, de más de 10 Vatios.

A lo largo de este proyecto, analizo uno a uno los bloques del sistema i los mejoro en la medida de lo posible hasta conseguir un sistema robusto que funciona correctamente cumpliendo muchos de los requisitos iniciales.

Agraïments

M'agradaria agrair aquest projecte a tot el personal del Laboratori de recerca de microones de l'edifici D3, ja que han contribuït en gran mesura a que s'hagi pogut dur a terme, en especial a l'Albert Marton que ha participat molt activament.

Per altra banda m'agradaria agrair al professor Albert Aguasca, tutor del projecte per tot l'interès que ha mostrat tant en el projecte com en mi com a alumne.

Revision history and approval record

Revision	Date	Purpose
0	25/06/2018	Document creation
1	26/06/2018	Document revision
2	27/06/2018	Document revision

DOCUMENT DISTRIBUTION LIST

Name	e-mail
Miquel Royo	miquel.royo.martinez@alu-etsetb.upc.edu
Albert Aguasca	aguasca@tsc.upc.edu

Written by: Miquel Royo Martínez		Reviewed and approved by: Albert Aguasca	
Date	25/06/2018	Date	27/06/2018
Name	Miquel Royo Martínez	Name	Albert Aguasca
Position	Project Author	Position	Project Supervisor

Taula de continguts

Abstract.....	1
Resum	1
Resumen	3
Agraïments	4
Historial de revisió i aprovacions	5
Taula de continguts.....	6
Llista d'Il·lustracions	7
Llista de Taules:.....	8
1. Introducció	9
2. Tecnologia emprada en el projecte:	¡Error! Marcador no definido. 2
3. Desenvolupament del projecte:.....	¡Error! Marcador no definido.
3.1 Caracterització del capçal:.....	13
3.1.1 Caracterització de la part de Banda Base:.....	13
3.1.2 Caracterització del bloc circuital d'alta freqüència:.....	17
3.2 Prototip reducció de pes:.....	20
3.2.1 Reducció de pes de la caixa:.....	20
3.2.2 Reducció de pes de la circuiteria:.....	20
3.3 Prototip capçal RF:.....	21
3.3.1 Prototip LF:.....	21
3.3.2 Prototip HF:.....	23
3.4 Probes del sistema:.....	27
3.5 Calibratge indirecte:.....	29
4. Resultats.....	33
5. Presupost.....	¡Error! Marcador no definido.
7. Conclusions and future development:	35
Bibliography:	36

Llista d'Il·lustracions

Il·lustració	Pàgina
1	13
2	14
3	14
4	14
5	15
6	15
7	16
8	16
9	17
10	17
11	18
12	18
13	18
14	18
15	20
16	21
17	21
18	22
19	23
20	24
21	24
22	24
23	25
24	27
25	29
26	31
27	32
28	32
29	32

Llista de Taules:

Each table in the thesis must be listed in the “List of Tables” and each must be given a page number for its easy location.

Taula	Pàgina
1	15
2	29

1. Introducció

a. Estament de propòsit (objectives).

El projecte està basat en la tesi doctoral de l'exalumne de la ETSETB Marc Lort Cuenca anomenat "Contributions to Ground-based and UAV SAR systems for Earth observation", presentada el setembre de 2017. La tesi inclou tres tòpics: "SAR Remote Sensing", "Contribution to RISKSAR-X SAR system" i "Contribution to ARBRES-X SAR system". El meu projecte està basat en la part "hardware" (l'electrònica del capçal RF) del tercer tòpic: ARBRES.

b. Requeriments i especificacions.

Requeriments:

El pes de la circuiteria s'ha de veure reduït.

La interferència co-canal s'ha de veure reduïda.

L'amplificació i filtrat de les senyals s'ha de millorar.

Especificacions:

El pes del Sistema s'ha de veure reduït en un 20%.

La interferència co-canal s'ha d'incrementar en 10 dB.

L'amplificació de la senyal rebuda ha de ser d'almenys 40 dB.

c. Mètodes i procediments:

Parteixo d'una tesi doctoral molt àmplia on es treballa des de la calibració de l'octocòpter fins al processat final per a l'obtenció de les dades capturades durant el vol de l'aparell; però al ser tan àmplia permet en gran mesura la millora dels blocs del sistema. En el meu cas el del capçal RF, que tot i funcionar correctament, tenia varies limitacions en quant a disseny i optimització.

d. Work plan with tasks, milestones and a Gantt diagram.

Project:	WP ref: 1	
Major constituent: hardware characterization		
Short description: Characterization of all the stages (in terms of signal quality and spectrum) in the existing RF head.	Planned start date: 14/02/2018 Planned end date: 19/03/2018	
	Start event: End event:	
Internal task T1: Baseband frequency stages characterization.	Deliverables: Documents showing the hardware properties	Dates: Week 6
Internal task T2: High frequency stages characterization.		

Project:	WP ref: 2	
Major constituent: hardware weight reduction		
Short description: Reduce the weight of the RF head as much as possible in order to extend the aircraft flight time.	Planned start date: 19/02/2018 Planned end date: 05/04/2018	
	Start event: End event:	
Internal task T1: Reduce the weight of the case.	Deliverables: Hardware and case	Dates: Week 8
Internal task T2: Reduce the weight of the hardware.		

Project:	WP ref: 3	
Major constituent: new hardware prototype		
Short description: Propose a new RF head that outperforms the previous design in terms of signal quality, weight and power consumption.	Planned start date: 05/04/2018 Planned end date: 09/06/2018	
	Start event: End event:	
Internal task T1: Baseband frequency stage prototype.	Deliverables: Hardware and case of a prototype	Dates: Week 17
Internal task T2: High frequency stage prototype.		
Internal task T3: Complete RF head prototype		

Project:	WP ref: 4		
Major constituent: rooftop testing and correcting the complete system.			
Short description: Testing the complete system and verifying its correct performance. The UAV will be mounted on an either static or controlled speed trail.	Planned start date: 27/04/2018 Planned end date: 09/06/2018		
	Start event: End event:		
Internal task T1: Acquiring correct measures of Collserola from the D3 rooftop.	Deliverables: Correct measurements of Collserola		Dates: Week 17
Internal task T2: Acquiring correct measures of Collserola when the UAV is mounted on a moving trail.			

Project:	WP ref: 5		
Major constituent: Characterization of the whole system.			
Short description: As an electronic component was switched, a full new hardware characterization is needed.	Planned start date: 09/06/2018 Planned end date: 21/06/2018		
	Start event: End event:		
Internal task T1: Characterization of the whole system.	Deliverables: Characterization	Dates: Week 20	

WP#	Task#	Short title	Milestone / deliverable	Date (week)
1	1 and 2	Hardware characterization	Documents delivery	Week 6
2	3 and 4	Hardware weight reduction	Hardware and case delivery	Week 8
3	5 and 6	New hardware prototype	Hardware and case delivery	Week 17
4	7	Correct measures	Measures delivery	Week 17
5	8	Characterization II	Documents delivery	Week 20

e. Descripció de les desviacions del pla inicial i les incidències que hagin pogut ocórrer.

Des del CDR només hi ha hagut una incidència, tot i així ha obligat a generar un nou Work Package. Aquesta ha estat haver de modificar un component electrònic, el que ha forçat a haver de tornar a calibrar el sistema un cop ja havíem validat el seu funcionament.

Tot i la incidència el projecte s'havia planejat d'acabar dues setmanes abans de l'entrega final per a preveure incidents com el present, de manera que gràcies a una planificació que permetia certa flexibilitat s'ha pogut finalitzar a temps.

2. Tecnologia emprada en el projecte

Aquest projecte s'ha dut a terme al laboratori de recerca de microones de la ETSETB al Campus Nord de la UPC de Barcelona. Això garanteix que tot l'equipament emprat és d'última tecnologia i els components fets servir en la circuiteria són de disseny actual.

Tant l'analitzador de xarxes, l'analitzador d'espectre, els generadors de senyal, la fressa CNC són instruments d'alta tecnologia que han permès que aquest projecte es pogués realitzar.

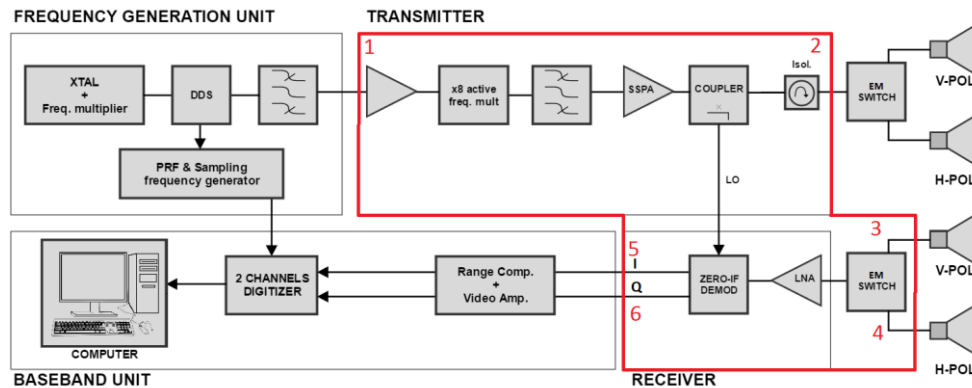
La tecnologia Radar actual està molt desenvolupada actualment i el meu projecte no pot considerar-se d'última generació, degut entre altres aspectes al pressupost, però la metodologia utilitzada a l'hora de prendre decisions de disseny es aplicable a projectes molt avançats.

3. Desenvolupament del projecte:

3.1 Caracterització del capçal:

L'objectiu d'aquest primer capítol és la caracterització completa del sistema a tots els nivells com si fos una caixa negra, és a dir, només interactuant amb les entrades i les sortides físiques de la caixa. Correspon al WP 1.

Sabem que el diagrama complet del sistema és el donat per la tesi:



Il·lustració 1

El bloc del qual volem obtenir les seves característiques és el quadrat en vermell.

Podem determinar que, com veiem a la Il·lustració 1, estem davant d'un sistema de tres entrades i tres sortides.

- L'entrada 1 correspon a la freqüència de referència que ve donada pel DDS, de 1.206 MHz.
- La sortida 2 correspon a la RFout, la senyal del radar que serà transmesa per les antenes i que està al voltant dels 9.650 MHz.

Les entrades 3 i 4 corresponen a les senyals rebudes per les antenes receptores, que reben el rebot de la senyal enviada, per tant la senyal també es troba sobre els 9.650 MHz.

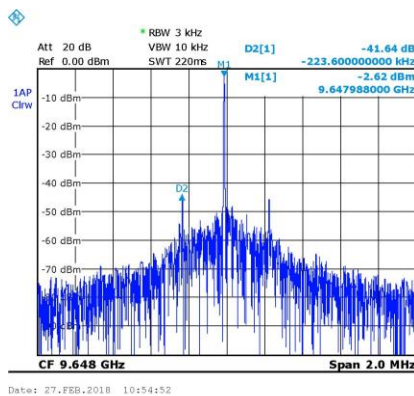
- Sortida 3: component amb polarització vertical.
- Sortida 4: component polarització horitzontal.

Les sortides 5 i 6 corresponen a cada una de les components demodulades. Hi ha dos components ja que cada una de les antenes de transmissió i de recepció treballa amb una polarització diferent.

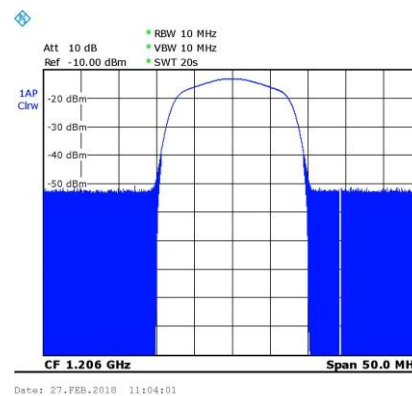
- Sortida 5: RED -> component amb polarització vertical.
- Sortida 6: GREEN -> component polarització horitzontal.

Veient el bloc comencem a dividir que els objectius principals de millora són, per una banda la bona qualitat de les senyals (guany alt, amb poca distorsió i el mínim soroll) i l'aïllament d'un canal a l'altre, que pot afectar en gran mesura al funcionament del sistema.

En primer lloc, caracteritzarem els instruments externs que utilitzarem per a realitzar les mesures. Els generadors de senyal no són ideals i tenen els següents comportaments freqüencials:



II·lustració 2



II·lustració 3

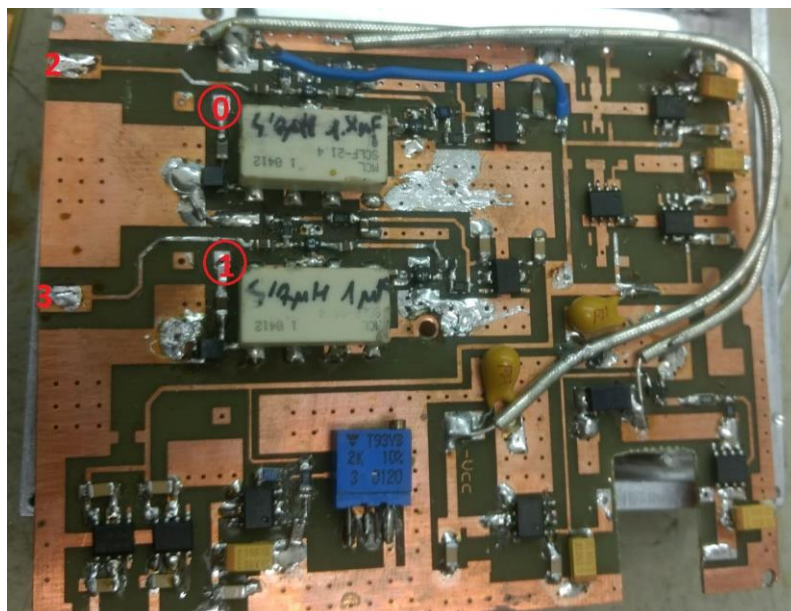
Veiem que si calibrem el primer generador de senyal a 9.650 MHz obtenim tons interferents propers (a 220 MHz de la senyal útil) amb una potència 40 dB inferior.

Per altra banda, el segon generador de senyal, a 1.206 MHz, no té espuris.

3.2.1 Caracterització del bloc circuital de banda base

La part de banda base ocupa tota una meitat del circuit sencer i està compost per components monolítics. En aquest circuit trobem tant elements actius: amplificadors i transistors, com elements passius: bobines i condensadors.

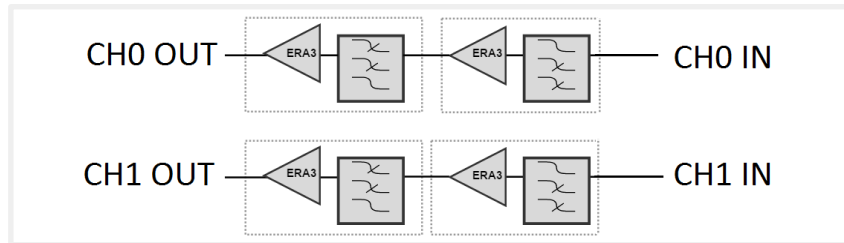
Per a caracteritzar aquesta part, haurem de treure tota la part d'alta freqüència.



II·lustració 4

Si ens fixem en la II·lustració 4, podem senyalar els senyals demodulats 0 i 1 que són injectats des de l'altre costat de la caixa (la part d'altra freqüència) mitjançant màstils, mentre que les sortides 2 i 3 corresponen a les sortides RED i GREEN (mencionades anteriorment) respectivament.

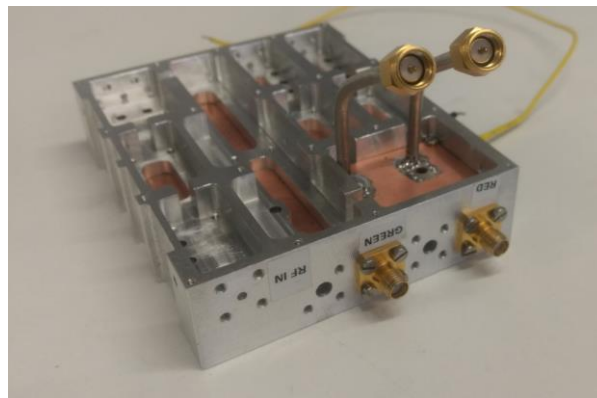
El circuit en banda base s'encarrega de rebre cada un dels canals demodulats (baixats en freqüència a banda base), i a continuació són filtrats i amplificats segons el diagrama de blocs de la II·lustració 5:



II-lustració 5

L'analitzador de xarxes és un instrument que pot mesurar els paràmetres S de molts circuits diferents sempre i quan aquests no continguin elements multiplicatius. Aquest és el cas del mesclador, que s'ha d'evitar per a poder obtenir una mesura correcta de les etapes.

És per això que s'ha de construir un circuit extern per a la possible injecció del senyal provinent dels canals 0 i 1 demodulats (en banda base):



II-lustració 6

Aquest circuit extern ens permet emular la injecció dels senyals en banda base i poder injectar-los a l'altre costat de la caixa (a la part de banda base) mitjançant els màstils anteriorment mencionats.

Fem servir l'analitzador de xarxes per a caracteritzar amb precisió tant la resposta freqüencial de les cadenes 0-0, 1-1 com les interferències 0-1 i 1-0. Calibrem l'analitzador de xarxes primer segons els paràmetres de la Taula 1:

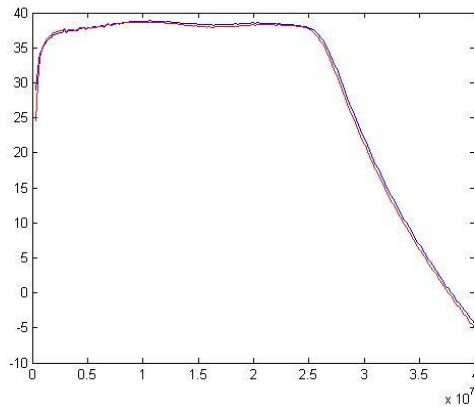
f start,stop: 300 KHz - 40 MHz Sweep setup -> P Calibrem amb el component N4691-60006 ECAL Display: 4 traces (per veure tots els paràmetres S)
--

Taula 1

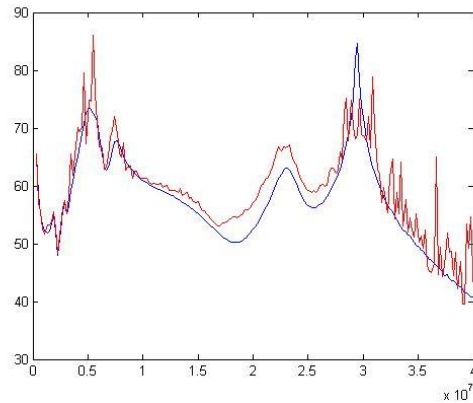
Salvem els arxius S2P per a més tard poder processar-los amb Matlab. Fem 4 mesures, totes les possibles combinacions entre els dos inputs i els dos outputs.

Aquests arxius tenen 4 columnes, una per a cada paràmetre S, així que podem representar tant el guany com l'aïllament de cada canal.

Aquestes cadenes amplificadores tenen, segons mesurem amb l'analitzador de xarxes, les següents respostes:



Il·lustració 7



Il·lustració 8

De color vermell veiem les corbes corresponents al canal 0, mentre que les del canal 1 estan representades en blau.

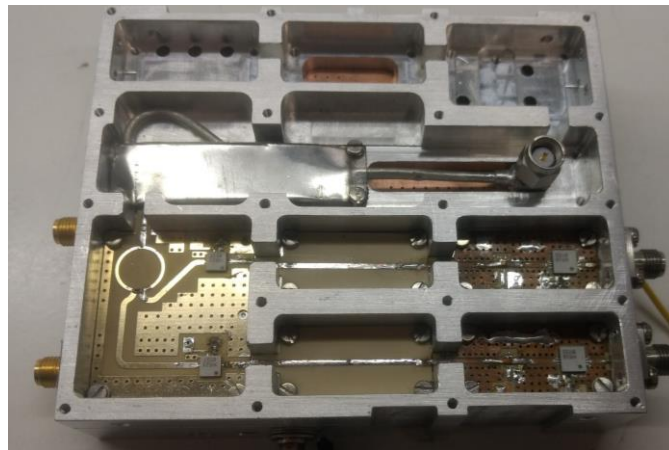
La Il·lustració 6 correspon a la comparativa de guanys que hi ha entre les dues cadenes, és a dir, injectant la senyal i rebent-la pel mateix canal, en funció de la freqüència. Obtenim uns guanys molt similars, i poc guany a baixa freqüència, que és necessari perquè el sistema funcioni correctament.

La Il·lustració 7 correspon a la comparativa de guanys que hi ha d'aïllament co-canal, és a dir el guany d'una cadena quan injectem la senyal per la contrària. Com veiem, prop de 500 KHz i a 3 MHz tenim poc aïllament d'un canal a l'altre en ambdós casos.

Hi ha una certa diferenciació en quant al canal 0 i a l'1 a la Il·lustració 7 degut a que no coincideix el filtre BW utilitzat en cada mesura.

3.1.2 Caracterització del bloc circuital d'alta freqüència:

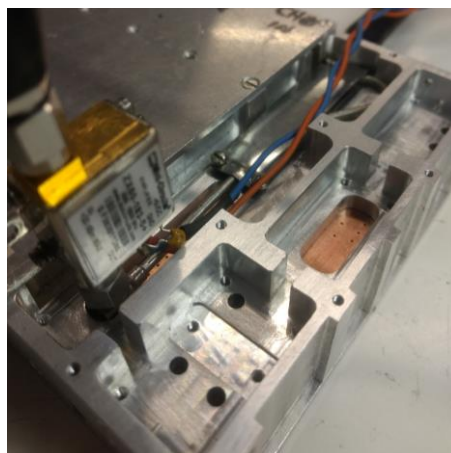
Un cop caracteritzat el comportament de la part de banda base, podem treballar amb ell assumint que no variarà, de manera que podem afegir noves parts al circuit, tot combinant a posteriori amb les dades que ja tenim. És important mencionar que partir d'ara ja no podrem fer servir l'analitzador de xarxes ja que el primer component que afegirem d'alta freqüència és el mesclador. Haurem de fer servir l'analitzador d'espectre per a obtenir una representació freqüencial però per a obtenir el guany absolut de qualsevol mesura haurem de fer servir el Wattímetre i a continuació corregir les dades.



II·l·lustració 9

Com veiem a la II·l·lustració 9, hem afegit tant el mesclador com els amplificadors dels canals 0 i 1 provinents de les antenes receptores. Hem hagut de fabricar una subjecció per al cable coaxial que injecta la freqüència de referència al mesclador per a demodular ambdues senyals.

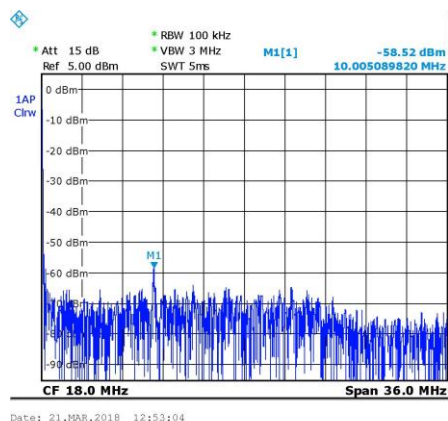
Tot i així hem d'afegir un altre component extern al circuit degut a què el generador de senyal que volem injectar com a freqüència de referència no té prou potència com per a que el sistema funcioni:



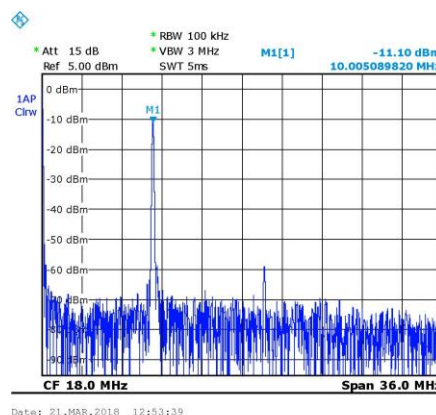
II·l·lustració 10

L'amplificador que podem veure a la II·l·lustració 10 s'utilitza per a augmentar en 20 dB la senyal provinent del generador de senyal.

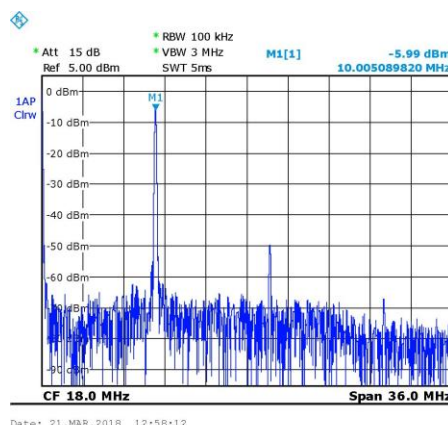
Amb aquesta configuració, i fent servir l'analitzador d'espectres per les raons esmentades, obtenim les següents captures que ens poden donar una idea del funcionament actual del sistema previ a haver realitzat cap modificació:



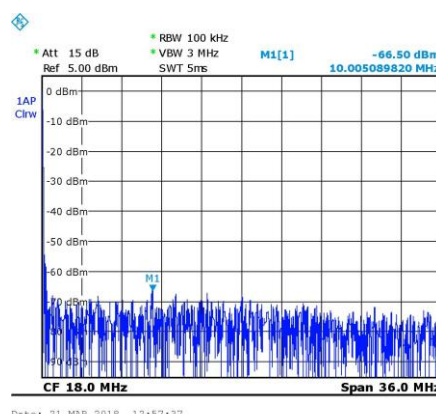
Il·lustració 11



Il·lustració 12



Il·lustració 13



Il·lustració 14

Les Il·lustracions anteriors corresponen a un to de 10 MHz resultat d'haver injectat la freqüència de referència de 9.650 MHz amb una potència de 14 dBm mentre que pels canals 0 i 1 hem injectat una sinusoide de 9.660 MHz amb una potència de -50 dBm, emulant el senyal que entra per les antenes receptores.

Per una banda els aïllaments són correctes, de l'ordre de 50 dB, però apareixen harmònics a baixa freqüència degut al comportament no lineal dels mescladors i que, segons el nivell de potència que tinguin, pot suposar que el sistema falli.

Per altra banda els guanys dels canals no estan del tot equilibrats:

Tenim per una banda el canal 1, que li estem injectant -50 dBm, mesclm la senyal amb els 14 dBm a la sortida de l'amplificador, que té unes pèrdues d'uns 10 dB i mesurem amb el Wattímetre -10,1 dBm. Això ens indica que tenim un guany de la cadena de 35 dB.

Mentre que al canal 0 totes les potències són equivalents menys el valor mesurat de potència a la sortida, que el Wattímetre dona -5 dBm, el que suposa un guany total de 41 dB.

Aquests valors no corresponen amb els guanys teòrics que haurien de tenir les cadenes.

Conclusions:

Vist el funcionament actual del sistema, podem deduir que no està funcionant correctament i que hi ha marge de millora: El disseny actual és pesat, té soldadures incorrectes, té molt d'acoblament entre canals i el guany de les cadenes no és el que hauria de ser.

3.2 Prototip reducció de pes: Correspon al WP 2.

Per a solucionar els problemes obtinguts a l'apartat de caracterització del circuit donat que són: Guany de cada una de les cadenes, aïllament entre canals, eliminació d'espuris a baixa freqüència, reducció del pes de la caixa, reducció del consum del circuit. Correspon al WP 2.

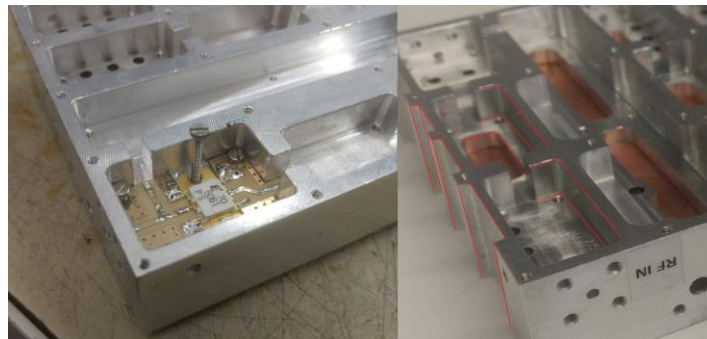
3.2.1 Reducció de pes de la caixa:

Un dels requeriments més importants del projecte és el de reduir el màxim possible el pes del disseny, ja que aquest va muntat en un octocòpter i el temps de vol és inversament proporcional al pes que ha de carregar.

Per una banda hem pensat en canviar el material de la caixa: Fer-la de plàstic o algun tipus de polímer podria fer que reduís notablement el seu pes, però degut a l'alt consum de la circuiteria, d'aproximadament 10 Watts, no és viable aquesta solució.

És per això que decidim alleugerir pes traient el màxim material possible amb la CNC de manera que els que separen les cavitats i que tanquen el circuit siguin el més estrets possibles, tot mantenint la integritat mecànica i respectant el gruix necessari per als forats dels cargols.

En primer lloc pesem la caixa, sense l'electrònica ni els passamurs, i obtenim un pes de 216 grams i a continuació passem a designar les àrees que poden ser retirades.



Il·lustració 15

A la Il·lustració 15 veiem una comparativa en detall de les parts que han estat trepades de la placa original. Els murs interiors són notablement més prims, mentre que els exteriors, a excepció d'on hi han d'anar els cargols, també.

Aquest procediment s'ha realitzat amb una màquina de CNC d'alta precisió, que ha permès obtenir un pes resultant de 173 grams, 44 grams menys. Aquest resultat suposa una reducció del 18% del pes de la placa (sense l'electrònica ni els passa-murs), que tot i ser limitada influirà en el temps de vol que permeten les bateries.

3.2.2 Reducció de pes de la circuiteria:

Tot i no haver eliminat cap dels components electrònics existents, hem aconseguit reduir pes gràcies a haver modificat les fonts d'alimentació que requereix el sistema. Cada una d'aquestes fonts (formada per un regulador i varis condensadors) tenia el seu propi dissipador, fet que afegia pes innecessari al sistema.

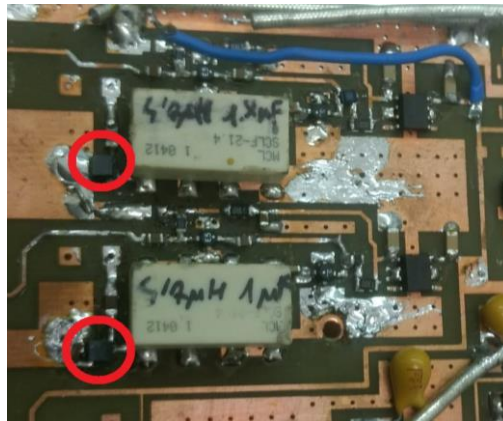
La solució a aquest problema ha estat retirar tots els dissipadors i collar els reguladors directament a la capsa externa del SAR, el que ha permès reduir en 32 grams el pes del sistema.

3.3 Prototip capçal RF: Correspon al WP 3.

3.3.1 Prototip LF

En primer lloc començarem per dissenyar un nou prototip per a la part de banda base, ja que és la part menys delicada i els components són SMD, fàcils de treure i posar, i és menys propens a oscil·lar i a donar problemes d'interferències.

Tot i així, com ja vam comprovar, aquesta part del circuit funciona correctament i ens centrarem en evitar al màxim possible que hi hagi interferències entre els dos canals.



Il·lustració 16

A la Il·lustració 16 podem veure que les bobines, que formen part del primer filtre passa-altes de la cadena amplificadora en banda base, poden ser font d'interferències entre canals. Això és degut a què es comporten com a antenes i part de la senyal pot acoblar-se des d'una bobina a l'altra.

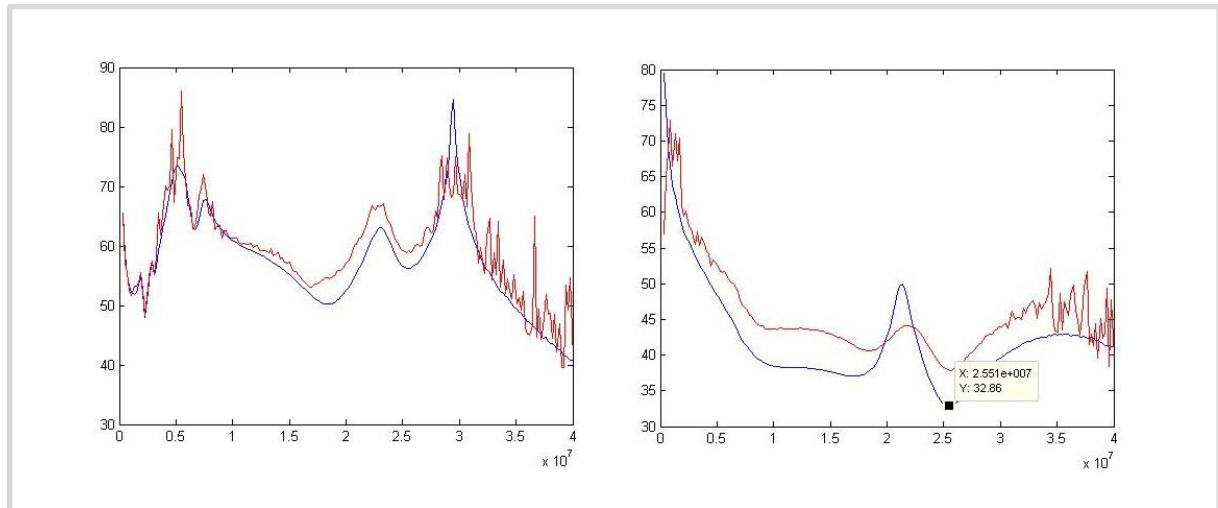
Per a evitar aquest comportament, una possible solució és afegir al circuit un material que pugui absorbir aquesta radiació de tal manera que la senyal rebuda per l'altra bobina sigui el menor possible.

Hi ha varis materials que es poden utilitzar i nosaltres hem fet servir una goma electroabsorbent que, posicionada correctament tal i com veiem a la Figura 15, pot aconseguir reduir notablement la interferència.



Il·lustració 17

El material absorbent es col·loca entre ambdues bobines formant una barrera que impedeix la propagació de la ona, ja que té forma de L, el que permet un millor aïllament. Mitjançant un tros d'espuma de polièster es manté en posició quan es tanca la caixa amb la tapa d'alumini.



Il·lustració 18

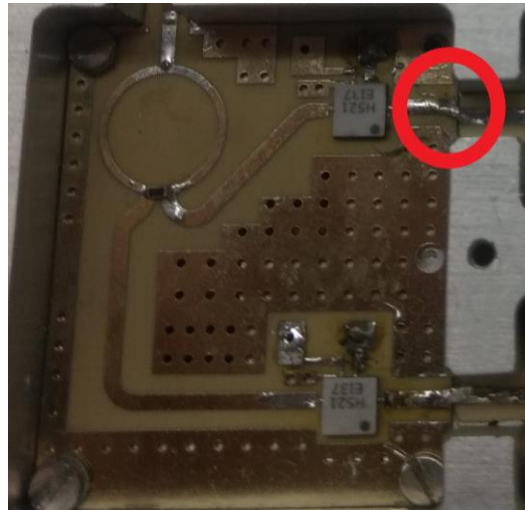
Tal i com havíem fet a l'hora de caracteritzar el sistema en banda base, podem tornar a fer servir l'analitzador de xarxes per a analitzar la millora en quant a l'aïllament.

A la Il·lustració 18 podem apreciar la millora que suposa introduir aquest tipus de material, ja que hem aconseguit reduir, en gairebé tot l'espectre de baixa freqüència, 20 dB d'interferència. Diferenciem en blau i en vermell cada un dels canals (el 0 i el 1 respectivament),

3.3.2 Prototip HF:

Tot havent comprovat que el guany dels amplis és correcte, podem deduir que el que està fallant és el mesclador, ja que està atenuant més de 10 dB, el que produeix que el guany de cada una de les cadenes no sigui ni equilibrat ni el necessari per a que el sistema funcioni. Segons els resultats obtinguts calculem que té unes pèrdues reals superiors a 15 dB.

Per aquesta raó fabriquem una placa amb un mesclador nou i el soldem a la placa juntament amb la resta de components. Aquest nou component té varies avantatges respecte de l'anterior:



Il·lustració 19

En primer lloc, la pista que connecta amb una pista adjacent estava desplaçada. Amb la nova placa hem solventat aquest petit detall, ja que ara l'alineació és l'adequada i no hi haurà atenuacions degudes al pont que s'havia de realitzar per a evitar aquest inconvenient.

Per altra banda, el nou mesclador té menys pèrdues. Això ho podem comprovar tornant a realitzar tot el procés per a determinar el guany a la sortida:

Calibrem els generadors de senyal amb el Wattímetre per a assegurar que a la sortida tenim la potència exacta, de -60 dBm que emulen a les entrades de les antenes a 9.665 MHz, i -10 dBm per a l'entrada de freqüència de referència, a 1.206 MHz. En aquest cas estem treballant a una freqüència en banda base de 17 MHz (el centre freqüencial operatiu del sistema) i és necessari dir que afegim càrregues atenuadores adaptades a 50 Ω a les entrades que no s'utilitzen per a cada mesura.

Aquestes càrregues a l'entrada i sortida que no farem servir per a cada una de les 4 mesures ens garantitzen que el sistema no oscil·larà degut a una desadaptació i evitem així harmònics a baixa freqüència que farien que el sistema no funcionés adequadament. Això és degut a què no estem connectant les antenes, que sí que estan adaptades, i les sortides a la capturadora, que tampoc estan connectades ja que estem treballant únicament amb la placa.

Els resultats obtinguts són els següents:



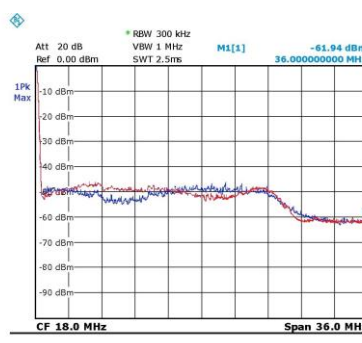
Date: 12.APR.2018 16:59:12

Il·lustració 20



Date: 12.APR.2018 16:55:45

Il·lustració 21



Date: 12.APR.2018 16:57:47

Il·lustració 22

Veiem en primer lloc que els resultats són prometedors ja que com hem mencionat estem injectant -60 dBm, 10 dB menys que abans, i tot i així obtenim una potència a la sortida del mateix ordre.

Cal mencionar que l'interval estranyament atenuat, d'entre 7 i 10 MHz és degut al propi analitzador d'espectre, que atenua aquest segment. Aquest comportament no afecta a les nostres mesures de potència, ja que fem servir el Wattímetre.

A la Il·lustració 20 veiem la resposta freqüencial del canal 1, que mesurant amb el Wattímetre confirmem que ens trobem a -9,35 dBm i que per tant tenim un guany de la cadena de 50,65 dB, 15 dB per damunt dels 35 que obteníem anteriorment, el que suposa una millora molt notable en el funcionament.

A la Il·lustració 21 veiem la resposta freqüencial del canal 0, que en aquest cas mesurant amb el Wattímetre obtenim -8,92 dBm, el que implica un guany de 51,08 dB, 10 dB per damunt dels 41 que obteníem amb l'antic mesclador.

Aquests primers resultats són motivadors ja que no només obtenim més guany, sinó que també més balancejat respecte de cada canal, amb una diferència de tan sols 0,43 dB, que implica haver de fer menys rectificacions a l'hora de processar la senyal quan el sistema estigui funcionant.

A la Il·lustració 22 podem veure la comparativa de les interferències corresponents en vermell a la configuració (output, input): 0-1, i en blau 1-0. Ens trobem al voltant de -50 dBm segons l'analitzador d'espectre, però com ja hem comentat anteriorment, aquest aparell no ens dona una mesura absoluta de la potència real. Si com a alternativa fem servir el Wattímetre per a mesurar aquest valor de potència, obtenim que la potència és en el cas 0-1 de -19 dBm i en el cas 1-0 de -10 dBm. Aquests resultats no corresponen als de la Figura 22, i això és degut a què el Wattímetre mesura la potència a tot l'espectre i no només en banda base, pel que obtenim valors elevats de potència corresponents a harmònics (resultat del producte de senyal) d'alta freqüència, que no interfereixen en el funcionament del nostre sistema però que ens impedeixen mesurar amb precisió el guany real de les cadenes creuades.

És per això que la solució per a obtenir la mesura de potència absoluta de la interferència co-canal és mitjançant la que havíem obtingut del Wattímetre en el cas 1-1, ja que podem rectificar la corba obtinguda per l'analitzador d'espectre si assumim que per a 17 MHz tenim -16,8 dBm.

D'aquesta manera ens adonem que les corbes mesurades amb l'analitzador d'espectre estan desplaçades: $16,8 - 8,92 = 7,88 \rightarrow 8$ dB per sota de la mesura real.

Rectificant les corbes de la Figura 22 obtenim una interferència co-canal de 39 dB pel cas 0-1 i 37 dB pel cas 1-0.

Per a reduir la interferència dels canals a la part d'alta freqüència, provem varis mètodes empírics per a atenuar el màxim possible la senyal creuada. És per això que a continuació ve un llistat de mesures de la potència absoluta de la interferència cadascuna amb una configuració diferent de materials usualment emprats en l'atenuació d'interferències entre circuits adjacents:

COURE: -39,6 dBm

COURE + ESPUMA ELECTROABSORBENT: -43 dBm

ESPUMA ELECTROABSORBENT + COURE: -41 dBm

GOMA ELECTROABSORBENT + COURE: -37,6 dBm

GOMA ELECTROABSORBENT + POREX: -36,8 dBm

GOMA ELECTROABSORBENT + COURE + POREX: -41,4 dBm

COURE COBERT DE CINTA CONDUCTORA: -45 dBm

ESPUMA ELECTROABSORBENT + POREX: -56 dBm

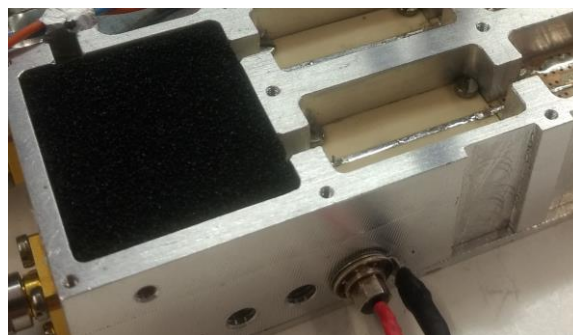
Una breu explicació de cada material és necessària per a entendre l'experiment:

COURE: Aquest component és bàsicament una pista SMD recoberta de coure a ambdós costats, el que produeix una reducció de la cavitat i pot atenuar oscil·lacions produïdes per tenir una cavitat gran.

ESPUMA ELECTROABSORBENT: Espuma que atenua les emissions electromagnètiques d'alta freqüència produïdes pels elements circuitals.

GOMA ELECTROABSORBENT: Goma que atenua les emissions electromagnètiques de baixa freqüència produïdes pels elements circuitals.

POREX: Un material molt aïllant que, retallat per encaixar a la cavitat, permet col·locar la pista de coure damunt per a reduir la mida de la cavitat sense produir cap curtcircuit.



Il·lustració 23

Tal i com podem apreciar a la figura 23, la solució òptima és col·locar retalls de porex amb l'espuma electroabsorvent damunt, ja que aquesta última és lleugerament conductora i de no fer servir el material aïllant es produeixen pèrdues.

Al situar aquests materials a totes les cavitats de la part d'alta freqüència de la placa obtenim una interferència co-canal absoluta de -54 dBm per a la configuració 0-1 i -56 dBm per a la configuració 1-0. Amb aquestes noves mesures podem deduir que el nostre aïllament és ara de més de 45 dB per a ambdós configuracions, el que suposa una millora de 6 dB per al cas 0-1, on obteníem 39 dB d'aïllament i de gairebé 10 dB per al cas 1-0, on trobàvem 37 dB prèviament a introduir el material absorbent.

Amb els resultats obtinguts estem satisfets i podem passar a provar el sistema ja que ens sembla adient obtenir una sèrie de mesures que també serviran per a validar el correcte funcionament del sistema.

3.4 Probes del sistema:

La prova del sistema complet es realitza al terrat de l'edifici D3 del Campus Nord de la UPC. Per a provar-lo, fem vàries mesures en un riell mòbil que més endavant processarem. Correspon al WP 4.

Hem fet un total de 4 proves, 3 de les quals han estat fallides per motius diversos, ja que per a aconseguir que el sistema sencer funcioni no pot fallar cap dels blocs.

Totes les mesures han consistit en el següent procediment:

1. Situar el radar al riell i connectar l'arduino que activa la capturadora i engegar l'ordinador a bord.
2. Connectar l'ordinador portàtil amb el cable de xarxa per a accedir a l'escriptori remot.
3. Inicialitzar el programa amb Visual Studio que activa la capturadora.
4. Establir els paràmetres del riell que controlen la seva velocitat.
5. Polsar el botó de l'arduino que fa que el SAR dispari i capturi simultàniament.

Polsar el botó de l'arduino activa tot el sistema durant 18 segons, obtenint així dades durant tot aquest temps.



Il·lustració 24

A la Figura 24 veiem tots els components que formen el radar situat al riell ja mencionat.

Per a obtenir una sèrie de mesures diferents, realitzem 8 disparats del SAR, cada un amb una velocitat del riell controlada:

1a mesura:

La fem en estàtica, amb el riell quiet, i en FULL POL, és a dir fent servir les 2 antenes emissores i les 2 antenes receptores, obtenint amb la capturadora les dues polaritzacions (vertical i horitzontal) corresponents.

2a i 3a mesura:

En aquest cas la fem amb la velocitat de riell $v=1.000$. També en FULL POL, i degut a què la velocitat és baixa, el riell triga més de 18 segons a completar el recorregut, pel que totes les mesures capturades són en dinàmica. Ambdues mesures poden semblar idèntiques però són útils per a validar el correcte funcionament del sistema en el processat.

4a mesura:

Tornem a programar la velocitat del riell a zero ja que en aquest cas capturarem en mode MONOCANAL. D'aquesta manera, transmetem en aquest cas en polarització vertical i rebem en polarització vertical també.

A partir d'ara, farem 4 mesures en dinàmica que ens permetran caracteritzar el comportament del sistema tant per la transmissió i recepció en la mateixa polarització com en polaritzacions inverses per a comprovar la baixa interferència co-canal que hem aconseguit.

Establim la velocitat novament a 1.000 i realitzem totes les permutacions possibles de polarització tant en transmissió com en recepció, totes elles en MONOCANAL. Per a dur a terme aquests canvis d'emissió vertical a horitzontal, fem servir una antena de botzina que ens permet rotar-la per a emetre segons la polarització desitjada. En recepció simplement capturem amb el canal desitjat amb el braç FULL POL de l'antena.

5a mesura:

Transmissió en polarització vertical, Recepció en polarització vertical.

6a mesura:

Transmissió en polarització horitzontal, Recepció en polarització vertical.

7a mesura:

Transmissió en polarització horitzontal, Recepció en polarització horitzontal.

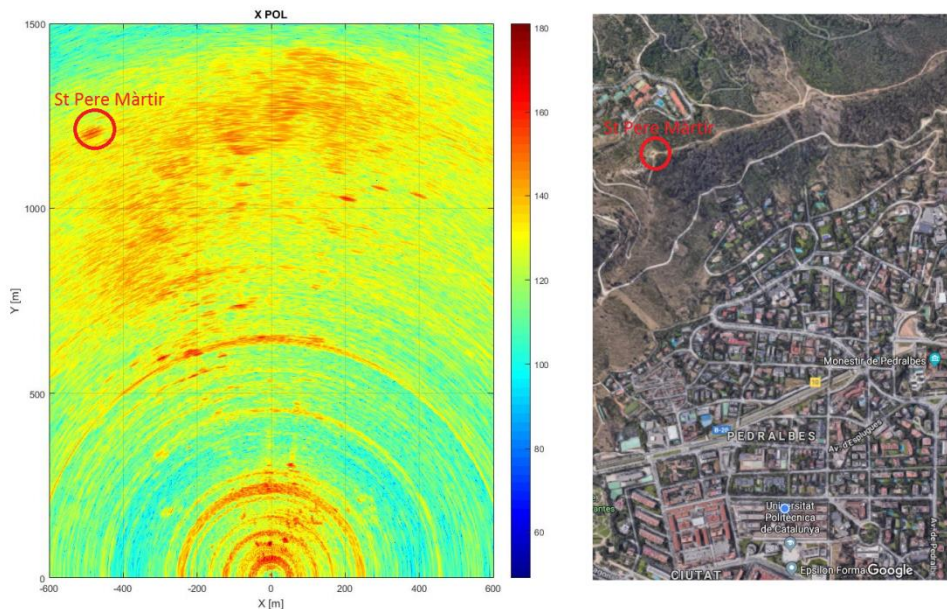
8a mesura:

Transmissió en polarització vertical, Recepció en polarització horitzontal.

Un cop fetes totes les mesures, les salvem a l'ordinador portàtil per a més endavant processar-les.

3.5 Calibratge indirecte:

Tot i haver obtingut mesures correctes i una representació focalitzada de les mesures realitzades com podem veure a la figura 25, on podem veure una comparativa de les dades obtingudes pel SAR i una captura en vista d'ocell de la zona que estem mesurant, malauradament un dels canals ha deixat de funcionar. Correspon al WP 5, no present al CDR.



Il·lustració 25

Aquest és un error molt crític en el transcurs d'aquest projecte ja que implica canviar un dels components electrònics, és a dir, perdre tota el calibratge fins el moment.

Ja que tornar a seguir tots els passos no és viable, decidim calibrar el sistema d'una forma alternativa: injectant un senyal controlat i, a partir de les dades capturades, analitzar la resposta del sistema i recuperar el calibratge indirectament.

Per a dur a terme la tècnica proposada, en primer lloc cal seguir el procediment que havíem explicat per a provar el sistema, ja que haurem de capturar dades i processar-les. Per tal d'obtenir un bon calibratge hem de fer un escombrat de mesures des de 100 KHz fins a 5 MHz, amb un total de 100 captures, és a dir una cada 50 KHz.

Aquestes captures les estem realitzant havent mesurat la potència amb el Wattímetre: La freqüència de referència a -10 dBm i a 1206 MHz i la senyal emulant les antenes la tenim a -60 dBm a una freqüència variable com hem esmentat.

A continuació fem la FFT de cada una d'aquestes captures i les representem segons el següent codi Matlab:

```

clc;
close all;
clear all;
tic;

Nt=500; %Pulses per channel. Max. 30000 per channel
Np=Nt/4; %1024*4; %Presuming Number

```



```

Nsamps=4096;
fase=[];
amp1=[];
amp2=[];
amp_rel=[];

for ii = 1:50
    nom = int2str(ii);
    nom = strcat(nom, '.dat');

    fi=fopen(nom);
    % fseek(fi,43,'bof');
    % dades=fscanf(fi,'%c',11);
    % fprintf('Inici adquisicio: %s\n',dades);
    ID=fscanf(fi,'%c',10);
    Card=fread(fi,1,'int16');
    NumChan=fread(fi,1,'int16');
    Chann=fread(fi,1,'uchar');
    NumScan=fread(fi,1,'int32');
    dataWidth=fread(fi,1,'int16');
    ChanOrd=fread(fi,1,'int16');
    AdRange=fread(fi,1,'int16');
    ScanRate=fread(fi,1,'double');
    NumChanRange=fread(fi,1,'int16');
    StartDate=fscanf(fi,'%c',8);
    StartTime=fscanf(fi,'%c',8);
    StartMilli=fscanf(fi,'%c',3);
    Reserved=fscanf(fi,'%c',6);

    ChannScanned=fscanf(fi,'%c',1);
    ChannScannedRange=fscanf(fi,'%c',1);

    ChannScanned=fscanf(fi,'%c',1);
    ChannScannedRange=fscanf(fi,'%c',1);
    data0=fread(fi,Nsamps*Nt,'uint16');

    fclose(fi);

    dataCH0=data0(1:2:100000);
    dataCH0=2*(dataCH0-8192)/16384;
    dataCH1=data0(2:2:100000);
    dataCH1=2*(dataCH1-8192)/16384;

    f0 = fft(dataCH0,100000*16);
    mm(ii)=max(abs(f0));
    m0=find(abs(f0)== mm(ii));
    f1 = fft(dataCH1,100000*16);

    pause(0.1);
    fase(ii) = angle(f0(m0(1)))-angle(f1(m0(1)));

    amp1(ii) = max(abs(f0));
    amp2(ii) = max(abs(f1));

```

```

amp_rel(ii) = amp2(ii)/amp1(ii);
end

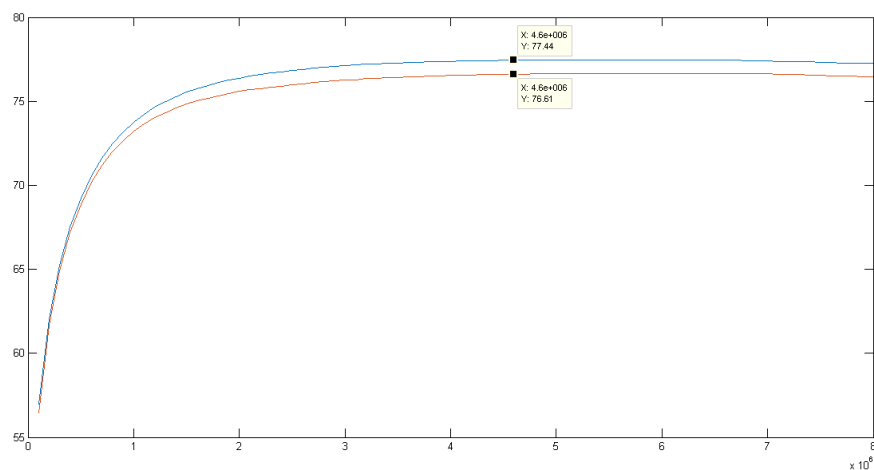
freq=(1:1:50)*1e5;
freq2=50e3+(0:1:49)*100e3;

amp11=amp1(1:50);
figure(1);
plot(freq,amp11)

```

Taula 2

Bàsicament aquest codi s'encarrega de fer la FFT de cada una de les mostres automàticament i obtenir tant la fase com el guany de cada un dels canals. A continuació agafa el valor màxim de la FFT i el representa al que seria la freqüència a la qual s'ha agafat la mostra.

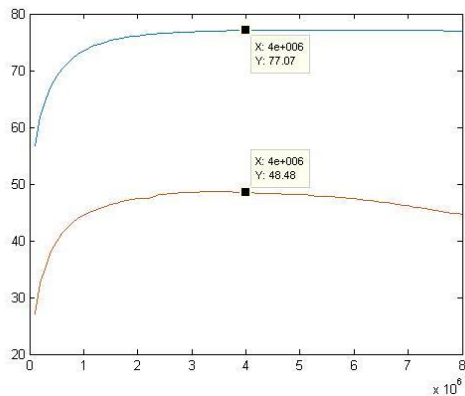


Il·lustració 26

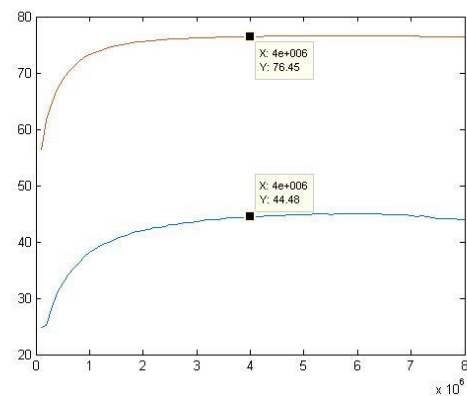
A la Il·lustració 26 podem identificar els guanys per a cada una de les cadenes. La corba blava representa el guany del canal 0, mentre que la vermella el del canal 1. Aquestes corbes de per si no aporten informació sobre el guany absolut real de les cadenes, ja que són simplement valors de les mostres processades, en una escala de milers.

El que sí aporta informació és mesurar amb el Wattímetre el valor exacte de la potència a la sortida de cada canal, a 5 MHz i coneixent el valor de potència a les entrades.

Amb aquesta configuració, obtenim un guany del canal 0 de 52.61 dB, i un guany del canal 1 de 52.08 dB, molt balancejats, tal i com s'aprecia a la figura.



Il·lustració 27



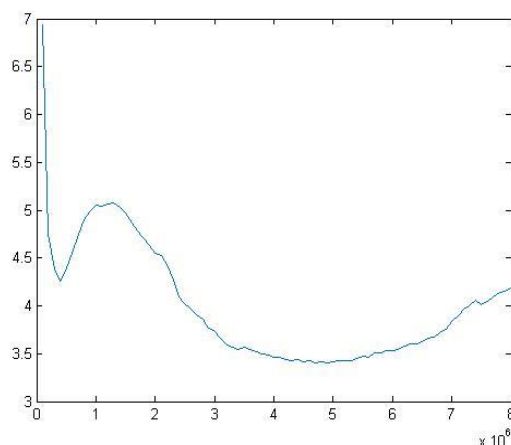
Il·lustració 28

A la Il·lustració 27 podem veure l'acoblament que existeix del canal 0 al canal 1.

A la Il·lustració 28 podem veure l'acoblament que existeix del canal 1 al canal 0.

Advertim que hi ha més acoblament del canal 0 al canal 1 que en el cas contrari. Aprofitant que ara les mesures són relatives, obtenim un aïllament de 0 cap a 1 de 28,59 dB, mentre que el de 1 cap a 0 és de 31.97 dB.

El factor de guany canal 0 - canal 1 ens permet corregir les mesures de manera que els canals estiguin completament balancejats. D'aquesta manera, podrem comparar les mesures obtingudes pels canals de forma independent i combinar-les per a poder extreure'n informació.



Il·lustració 29

A la Il·lustració 30 trobem la comparativa de la fase dels canals en graus: fase del canal 0 menys la fase del canal 1. Aquesta corba és tan o més important com el factor de guanys ja que la informació que ens aporta la fase és la que més tard ens permetrà representar imatges com la figura polarimètrica vista anteriorment.

Resultats

Obtenim els regüents resultats generals:

Guany del canal 0	52,61 dB
Guany del canal 1	52,08 dB
Acoblament del canal 0 al 1	28,59 dB
Acoblament del canal 1 al 0	31,97 dB
Consum	10,5 Watts

Pressupost

Preu dels components electronics total: 276,87 €

Preu de les hores de treball:

Assumint 8 €/hora:

WP 1.1	20 h	160 €
WP 1.2	25 h	200 €
WP 2.1	15 h	120 €
WP 2.2	10 h	80 €
WP 3.1	20 h	160 €
WP 3.2	40 h	320 €
WP 4.1	10 h	80 €
WP 4.2	5 h	40 €
WP 5.1	25 h	200 €

.....
Total 170 h 1.360 €

No és per tant econòmicament viable si les hores de treball són a 8 €.

Conclusions i futur desenvolupament:

D'aquest projecte se'n poden extreure moltes lliçons, però la més important ha estat aprendre a utilitzar una metodologia molt estricta per a identificar comportaments erronis de blocs i saber com solucionar-los en cada situació. En part perquè no partia de zero, sinó que part del sistema ja funcionava i per tant havia d'anar amb compte de no assumir el pitjor en cada cas.

S'ha tractat d'un projecte enfocat al hardware i a la optimització d'un circuit donat, de manera que ha consistit en utilitzar tots els recursos que he anat adquirint al llarg de la carrera (i d'altres que no) per a dissenyar solucions que permetessin millors ajustaments del sistema al seu propòsit, sabent sempre que l'enginyeria és una qüestió d'equilibri, que no tot es pot aconseguir, i que s'ha d'intentar buscar el punt òptim de funcionament, sovint renunciant a operacions de treball millors en altres sentits.

Els objectius que m'havia plantejat assolir a principi de curs, força diferents dels que em plantejaria aconseguir a aquestes altures del projecte, són:

- a. El pes del Sistema s'ha de veure reduït en un 20%.
- b. La interferència co-canal s'ha d'incrementar en 10 dB.
- c. L'amplificació de la senyal rebuda ha de ser d'almenys 40 dB.

a. Aquest és la única especificació que no he aconseguit assolir. El disseny original estava molt enfocat al baix pes i només he aconseguit reduir el pes del sistema en uns pocs grams, tasca que ha suposat un gran esforç.

b. La interferència co-canal ha estat millorada en més de 10 dB, pel que considero que és un objectiu assolit.

c. La senyal rebuda, a -60 dBm, és amplificada més de 50 dB, pel que aquesta també és una especificació aconseguida.

En un futur, provaria reduir pes d'altres parts del sistema com són l'ordinador a bord i la capturadora, que poden ser substituïdes per màquines més modernes i compactes, ja que el capçal d'RF ha assolit el mínim pes possible.

Bibliografia:

- [1] Marc Lort. "CONTRIBUTIONS TO GROUND-BASED AND UAV SAR SYSTEMS FOR EARTH OBSERVATION". *Tesis Doctoral*. Departamento de Teoría de la señal y comunicaciones Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)
- [2] René Acevo Herrera. "Sistemas de teledetección activos y pasivos embarcados en sistemas aéreos no tripulados para la monitorización de la tierra". *Tesis Doctoral*. Departamento de Teoría de la señal y comunicaciones Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)